

Pengembangan Sistem Pendukung Keputusan Permasalahan *Inventory Routing Problem* Pada SPBU Menggunakan Algoritma *Ant Colony*

Satria Nur Alam, Erma Suryani dan Retno Aulia Vinarti

Jurusan Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111

E-mail: erma.suryani@gmail.id

Seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan setiap tahun, akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan. Tingginya kebutuhan bahan bakar di Indonesia didominasi oleh jenis bahan bakar premium. Persentase konsumsi bahan bakar premium di daerah Jawa-Bali mencapai 59% dari kuota premium nasional. Besarnya persentase kebutuhan akan bahan bakar premium, menyebabkan manajemen distribusi menjadi hal krusial yang perlu ditingkatkan secara berkala. Depo yang berperan sebagai supplier terhadap retailer -yang dalam studi kasus ini adalah SPBU- diusulkan menerapkan model Vendor Managed Inventory (VMI), yaitu proses pengadaan barang dimana supplier mengelola inventori dari retailernya. VMI memiliki salah satu perencanaan yaitu Inventory Routing Problem (IRP), IRP merupakan suatu bentuk perencanaan berbasis vendor hasil perpaduan antara Inventory Management dengan Inventory Routing yang mengatur kuantitas pengiriman dan retailer mana yang harus dikunjungi dalam suatu waktu perencanaan dalam jangka waktu tertentu yang bersifat terbatas (finite planning horizon). Dengan hasil akhir berupa penjadwalan, perencanaan model IRP mempertimbangkan jarak supplier-retailer dan biaya stockout yang mungkin terjadi pada retailer, sehingga diharapkan pengiriman optimal dan tidak terjadi stockout pada pos-pos penjualan bahan bakar.

Solusi dari optimasi terhadap permasalahan IRP tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Ant Colony Optimization (ACO) yang mengadopsi perilaku sekawanan semut dalam mencari rute terpendek pada permasalahan distribusi dari depo menuju ke titik-titik penjualan bahan bakar atau SPBU. Penerapan ACO bertujuan untuk menghasilkan kombinasi rute terpendek sehingga biaya distribusi yang dikeluarkan akan minimal dengan mempertimbangkan biaya stockout pada permasalahan IRP untuk tipe permintaan stokastik dengan 2 tipe kendaraan untuk distribusi.

Kata kunci: inventory routing problem, algoritma ant colony, heuristik, masalah optimasi.

I. PENDAHULUAN

Jumlah kendaraan bermotor bertambah setiap tahunnya, hal tersebut ditunjukkan oleh data statistik yang dimiliki oleh Badan Perencanaan dan Pembangunan Nasional. Dari data statistik tercatat bertambahnya kendaraan roda empat sebanyak lebih dari tujuh juta dan tiga puluh delapan juta kendaraan roda dua dari tahun 1995 sampai dengan 2008. Dengan pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor sejumlah itu maka dapat dipastikan akan berpengaruh terhadap jumlah konsumsi bahan bakar yang meningkat setiap tahunnya.

Sebagai bahan bakar yang paling banyak digunakan, manajemen distribusi premium perlu ditingkatkan agar penyaluran premium dapat sampai ke Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dengan efisien. Saat ini distribusi untuk bahan bakar jenis premium ditentukan jumlahnya oleh depo berdasarkan *order-up-to-level inventory policy* dengan penggunaan *fleet vehicle* hingga sampai ke stasiun pengisian bahan bakar. Distribusi bahan bakar dilakukan dengan mengadopsi *swarm intelligence* dari koloni semut yang mencari rute terpendek dari dari sarang menuju sumber makanan yang biasa disebut dengan ACO (*Ant Colony Optimization*).

VMI (*Vendor Managed Inventory*) merupakan sebuah system yang telah diimplementasikan untuk berbagai kasus industri yang sudah dapat dibuktikan kelebihannya [1]. VMI merupakan sebuah system dimana supplier dapat menentukan kuantitas inventori dari retailernya. IRP (*Inventory Routing Problem*) sendiri merupakan bagian penting yang harus dipikirkan ketika mengimplementasikan proses bisnis berbasis vendor, yang mengintegrasikan *Inventory Management* dengan *Vehicle Routing Problem* yang lebih dikenal dengan sebutan IRP. IRP memberikan solusi dalam retailer yang harus dikunjungi dalam suatu periode, kuantitas yang harus dikirimkan pada suatu rute kunjungan dan rute kendaraan. Tipe permintaan yang deterministik kurang sesuai dengan kasus yang terjadi pada dunia nyata dimana permintaan bersifat dinamis [2] sehingga tipe permintaan yang digunakan lebih bersifat stokastik mengikuti ketidakpastian yang terjadi di pasaran.

ACO diterapkan pada berbagai kasus kompleks yang mempunyai banyak variabel, diantaranya adalah permasalahan VRP dan data mining. *Ant-based techniques* pertama kali digunakan oleh Dorigo, dalam kasus TSP (*Travelling Salesman Problem*). Pada dasarnya ACO meniru perilaku

sekawanan semut dimana sekawanan semut tersebut mencari rute terpendek dari sarang menuju ke sumber makanan. ACO digunakan karena *multiple fleet-vehicle* sebagai kendaraan pengangkut distribusi bahan bakar berangkat dari sebuah depo, dengan memperhatikan level persediaan SPBU dimana pengecekan terhadap level persediaan dapat dihasilkan keputusan apakah SPBU tersebut harus diisi ulang atau tidak. Permasalahan tersebut merupakan prinsip dari Inventory Routing Problem (IRP).

Tugas akhir ini diharapkan dapat menyelesaikan permasalahan IRP dengan penggunaan algoritma *ant colony* untuk tipe permintaan yang bersifat stokastik, sehingga distribusi dapat lebih optimal mengikuti dinamisnya kebutuhan bahan bakar yang terjadi di pasaran dengan menggunakan 2 jenis armada kendaraan distribusi bahan bakar untuk perencanaan jangka pendek dengan mempertimbangkan biaya *stockout*.

II. KAJIAN PUSTAKA

A. Vendor Managed Inventory

Vendor Managed Inventory (VMI) dipopulerkan pertama kali oleh Wal-Mart dan Procter Gamble pada akhir tahun 1980. VMI mengacu pada situasi dimana penambahan persediaan di sejumlah lokasi dikendalikan oleh pembuat keputusan pusat (vendor). Pembuat keputusan pusat dalam kasus ini merupakan depo, bertindak sebagai pemasok yang bertanggung jawab untuk pengisian ulang persediaan di berbagai retailernya. Seringkali pembuat keputusan pusat mengelola armada kendaraan yang membuat pengiriman [3].

Manajemen persediaan konvensional memiliki beberapa kelemahan. Hal ini khas untuk pesanan tidak tiba seragam dari waktu ke waktu. Misalnya, salah satu pemasok yang bekerja sama, yang biasanya kebanjiran order pada hari Senin. Dengan dugaan bahwa banyak pelanggan cenderung untuk memeriksa tingkat persediaan mereka pada hari Senin kemudian memesan. Fenomena lain yang terkait menyebabkan kerugian bagi pelanggan adalah beberapa pelanggan memesan secara mendesak ketika pelanggan lainnya memesan sangat terdesak. Dikarenakan pemasok tidak tahu tingkat persediaan pada pelanggan, informasi yang dibutuhkan untuk membandingkan urgensi nyata dari perintah yang berbeda tidak tersedia. Selain itu, pemasok hanya bertanggung jawab untuk memberikan produk pesanan kepada pelanggan, dan bukan untuk mempertahankan tingkat persediaan yang diinginkan pada pelanggan. Akibatnya perintah benar-benar mendesak mungkin tertunda karena kurangnya informasi dan insentif, permintaan da tinggi pada sumber daya pemasok [4].

Pada akhirnya dengan VMI biaya transportasi berkurang. Pendekatan ini membantu meningkatkan persentase pengiriman pengiriman truk penuh dengan biaya yang rendah dan mengeliminasi biaya yang relatif lebih tinggi dari pengiriman truk bermuatan (LTL) [5]. Hal ini mungkin dicapai dengan mengizinkan pemasok untuk mengkoordinasikan proses pasokan daripada merespon otomatis pesanan yang diterima. Hal lain yang menjadi kelebihan VMI adalah perencanaan rute lebih efisien, misalnya, satu truk khusus

dapat berhenti ke berbagai tujuan untuk mengisi persediaan ke beberapa pelanggan terdekat.

B. Inventory Routing Problem

Inventory routing problem (IRP) adalah salah satu masalah yang paling penting dalam keputusan logistik terpadu, yang merupakan prosedur kontrol dinamis jangka panjang. Sebagaimana diketahui bahwa IRP tipe stokastik pada perencanaan dalam jangka waktu tidak terbatas sangat rumit, sebagian besar difokuskan pada kebijakan partisi, dan model yang paling diasumsikan bersifat deterministik atau tingkat kebutuhan stabil (Peng, 2009). IRP adalah suatu bentuk perencanaan dari proses bisnis berbasis vendor (VMI) hasil perpaduan penyelesaian masalah *Inventory Management* dengan *Vehicle Routing Problem*.

Menurut (Burns et al., 1985) IRP digunakan untuk memperkirakan kebijakan pengiriman yang mengoptimalkan *trade-off* antara biaya pengiriman dan biaya inventori. IRP merupakan kelas baru hasil pengembangan dari *vehicle routing problem* (VRP). Dengan demikian, teknik solusi VRP dapat diadaptasi untuk menyelesaikan IRP. IRP merupakan salah satu permasalahan optimasi kombinatorial yang tergolong dalam *Non-deterministic Polynomial-time hard* (NP-hard) [6]. Karena sifatnya tersebut, permasalahan ini tidak dapat diselesaikan dengan metode linear standar terutama jika kompleksitas masalah besar. Metode yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan IRP diantaranya dengan penggunaan metode heuristik.

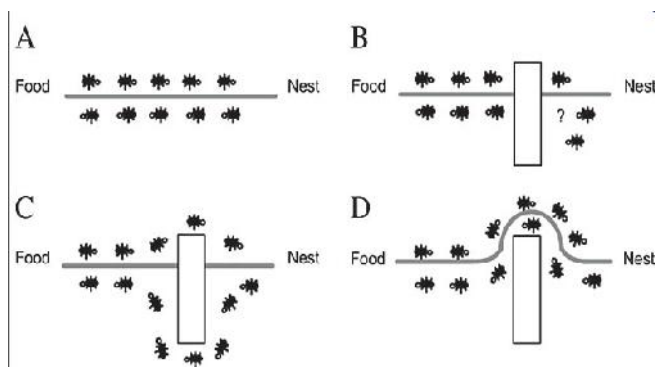
IRP berbeda dari VRP, dimana IRP tidak memerlukan *customer order*. Pada IRP, supplier menentukan kebutuhan dari retailer dengan catatan supplier tidak akan mengalami kehabisan produk. Selain itu *planning horizon* pada IRP bersifat lebih panjang daripada VRP yang ditentukan setiap hari. Tujuan dari penggunaan IRP adalah memutuskan bagaimana memenuhi kebutuhan supplier dengan mendistribusikan seberapa banyak inventori yang dibutuhkan dan supplier mana saja yang harus dikunjungi untuk setiap rute pengiriman. IRP dapat digambarkan sebagai berikut; Produk akan dikirim dari gudang ke pelanggan i ($i = 1, 2, \dots, N$), dengan menggunakan armada kendaraan v ($v = 1, 2, \dots, V$, setiap kendaraan mengangkut muatan yang telah diketahui C). Proses ini dimodelkan dalam waktu diskrit t ($t = 0, 1, \dots$, yang disebut sebagai periode keputusan, sesuai dengan awal setiap periode).

C. Ant Colony Optimization

Konsep *Ant System* merupakan hasil dari pengamatan terhadap perilaku dari koloni semut. Semut hidup secara sosial dengan membentuk koloni-koloni yang berperilaku berdasarkan kepentingan koloni [7]. Kemampuan alamiah dari semut adalah menentukan jarak terdekat dari sarang menuju sumber makanannya. Semut yang mencari sumber makanan akan diikuti oleh semut dibelakangnya dengan meninggalkan hormon *pheromone* sehingga semut berikutnya akan tahu apakah rute tersebut sudah dilewati atau belum. Dengan demikian, setiap semut akan mengikuti hormon *pheromone*

dari semut sebelumnya.

Semut yang telah menemukan rute terpendek akan akan meninggalkan hormon *pheromone* yang tercium lebih tajam daripada semut yang menemukan rute yang lebih jauh dari sarang menuju ke sumber makanan karena hormon *pheromone* dapat menguap. Selain itu, semakin banyaknya semakin banyaknya semut yang menempuh rute terpendek maka akan akan membuat hormon *pheromone* tercium lebih kuat sehingga akan diikuti oleh semut lainnya, sehingga didapatkan rute terpendek antara sarang dan sumber makanan. Pada awalnya semut akan mencari rute terpendek secara acak. Setelah ditemukan rute terpendek, maka rute yang lebih jauh tidak akan dipilih kembali seperti ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Ilustrasi cara kerja koloni semut

Dalam pengembangannya, ACO dibandingkan dengan pendekatan heuristik lainnya seperti *genetic algorithm* (GA), *simulated annealing* (SA) dan *evolutionary programming* (EP). Dari penelitian terhadap kasus TSP dengan 75 titik kota, ACO hanya membutuhkan 3.480 kali simulasi tur untuk menemukan jalur tur terbaik. Sedangkan GA membutuhkan 80.000 kali simulasi tur bahkan untuk SA dan EP membutuhkan jumlah simulasi tur yang jauh lebih banyak lagi (Dorigo & Gambardella, 1997). Hal ini membuktikan bahwa ACO dapat melakukan pemrosesan dengan cepat dan pendekatan ACO merupakan pendekatan yang tepat untuk mencari solusi yang optimal.

III. IMPLEMENTASI

A. Implementasi Data Masukan

Data masukan merupakan data yang dimasukkan oleh pengguna dimana data masukan tersebut kemudian diproses program untuk menghasilkan sebuah solusi. Terdapat 2 tipe data masukan, parameter dan *text file* yang didapatkan dari narasumber berisikan lokasi depot dan SPBU pada daerah Cilegon, Serang, Pandeglang, Lebak (Kab. Lebak) dan Tangerang.

Keseluruhan titik berjumlah 101, dengan 100 titik SPBU dan 1 titik lokasi depot. Lokasi SPBU merupakan bentuk hexagesimal GPS yang kemudian dirubah menjadi bentuk desimal agar dapat dihitung.

Pada penelitian sebelumnya data yang digunakan adalah set *Solomon's benchmark* yang digunakan pada permasalahan

vehicle routing problem time windows (VRPTW). Tugas akhir ini data yang digunakan disesuaikan menurut kasus sehingga data hexagesimal dirubah menjadi bentuk desimal. Data masukan yang telah disesuaikan ditunjukkan pada gambar 2.

0	5.085584131	105.0973368	0
1	6.024633	106.068833	24
2	5.96905	106.004467	4
3	6.016167	105.974983	18
4	5.986183	106.088967	16
5	6.031833	106.078833	18
6	5.984167	106.01635	14
7	5.99135	106.02845	24
8	5.9498	106.002333	4
9	5.95845	106.006	6
10	5.96525	106.00315	12
11	6.01085	106.018233	22
12	6.044033	106.094967	24
13	6.207617	106.35915	22
14	6.121783	106.15505	6
15	6.069083	105.892233	10
16	6.087067	106.131167	12
17	6.1563	106.158317	4
18	6.13105	106.26475	4
19	6.12025	106.2002	18

Gambar 2. Implementasi data masukan

B. Implementasi Proses Membaca Masukan

Proses membaca masukan diimplementasikan dengan membaca data yang terdapat pada *text file* dengan ekstensi (.txt). Setelah melakukan *browse* data masukan, kemudian data masukan tersebut dipilih dan dipanggil, isi file tersebut akan dibaca kemudian disimpan di dalam variabel array multidimensi untuk diproses lebih lanjut.

C. Implementasi Proses Menghitung Jarak

Langkah berikutnya adalah menghitung jarak dimana koordinat latitude dan longitude diketahui untuk proses pemilihan titik berikutnya. Rumus untuk menghitung jarak telah disesuaikan karena menggunakan bentuk koordinat desimal.

D. Implementasi Proses Menghitung Biaya Stockout

Biaya *stockout* terjadi pelanggan membuat suatu daftar permintaan terhadap suatu barang dan permintaan tidak terpenuhi pada waktunya. Selain jarak, hal yang berpengaruh dalam memilih rute adalah biaya *stockout*. Biaya *stockout* dapat dihitung dengan mengetahui jumlah *stockout* untuk item c pada SPBU i yang dinotasikan sebagai x dimana $x = \xi_i^c - I^c$ dan menghitung nilai peluang dari jumlah item *stockout* tersebut yang dinotasikan sebagai $P_i^c(x)$. Mengingat permintaan merupakan variabel acak yang diketahui memiliki distribusi normal, maka peluang *stockout* dapat dihitung dengan menghitung peluang distribusi normal. Hal ini dapat dilakukan karena luas area di bawah kurva normal adalah 1 yaitu sama dengan jumlah peluang dalam distribusi peluang. Untuk mengatasi kesulitan menghitung integral digunakan tabel distribusi normal standar (Z) yaitu distribusi normal dengan $mean = 0$ dan standar deviasi = 1.

E. Implementasi Proses Ant Colony Optimization

Implementasi Ant Colony Optimization dilakukan untuk inisialisasi titik pertama setiap semut, proses pemilihan titik berikutnya, perhitungan bobot rute dan pencarian rute optimal, *local pheromone updating rule* dan *global pheromone updating rule*.

Formulasi ACO dengan fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya total distribusi yang meliputi biaya perjalanan, biaya *recourse* dan biaya *stockout* sesuai dengan persamaan 1.

$$z = \sum_{m=1}^M (D^m \times T) + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^k (2d_{i,0} \times \theta_{i,m}^c \times T) + \int_{x=1}^{\infty} \sum_{i \in V_2} \sum_{c=1}^C S_c \times P_i^c(x) dx \quad (1)$$

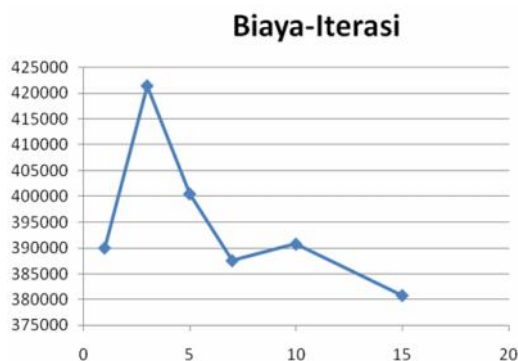
Persamaan 1 menjelaskan proses meminimalkan biaya perjalanan $\sum_{m=1}^M (D^m \times T)$ dimana D^m merupakan jarak perjalanan dan T merupakan biaya pengiriman per-kilometer sebuah kendaraan untuk sebuah kendaraan. Apabila kendaraan masih berisikan sejumlah premium namun tidak memenuhi ambang batas untuk proses *replenishment* yang ditentukan maka terjadi biaya *recourse* untuk setiap kendaraan yang dihitung sesuai persamaan $\sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^k (2d_{i,0} \times \theta_{i,m}^c \times T)$ dimana $2d_{i,0}$ merupakan *failure cost* untuk melanjutkan perjalanan, $\theta_{i,m}^c$ merupakan *threshold* untuk *stockout*. Pada persamaan $\int_{x=1}^{\infty} \sum_{i \in V_2} \sum_{c=1}^C S_c \times P_i^c(x) dx$ merupakan fungsi menghitung biaya *stockout* yang meliputi peluang *stockout* untuk jumlah permintaan.

IV. UJI COBA DAN EVALUASI

Uji coba dilakukan terhadap dua tipe kendaraan menggunakan variabel dan variasi iterasi yang berbeda untuk mendapatkan hasil terbaik setelah dilakukan validasi hasil yang memenuhi standar *error rate* dengan metode Yaman Barlas terhadap paper. Uji coba program dapat diuraikan sebagai berikut:

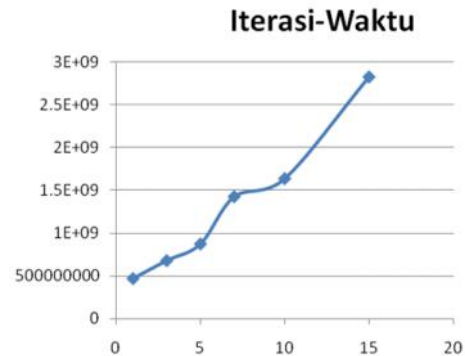
- Uji coba kendaraan terhadap 16kL.
- Uji coba kendaraan tipe 24kL.
- Uji coba variasi iterasi dan jumlah kendaraan.

Uji coba kendaraan tipe 16kL dengan variasi iterasi dan jumlah kendaraan menghasilkan output yang dijelaskan pada gambar 3. Dimana variasi iterasi memberikan pengaruh pada biaya.



Gambar 3 Perbandingan jumlah iterasi terhadap biaya tipe 16 kL dengan jumlah 5 kendaraan

Jumlah iterasi selain berpengaruh pada total biaya distribusi juga berpengaruh terhadap total waktu proses eksekusi yang ditampilkan pada gambar 4.



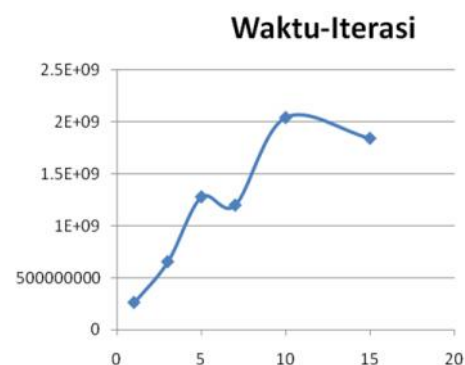
Gambar 4 Perbandingan jumlah iterasi terhadap waktu tipe 16 kL dengan jumlah 5 kendaraan

Uji coba kendaraan tipe 24kL dengan variasi iterasi dan jumlah kendaraan menghasilkan output yang dijelaskan pada gambar 5. Dimana variasi iterasi memberikan pengaruh pada biaya.



Gambar 5 Perbandingan jumlah iterasi terhadap biaya tipe 24 kL dengan jumlah 5 kendaraan

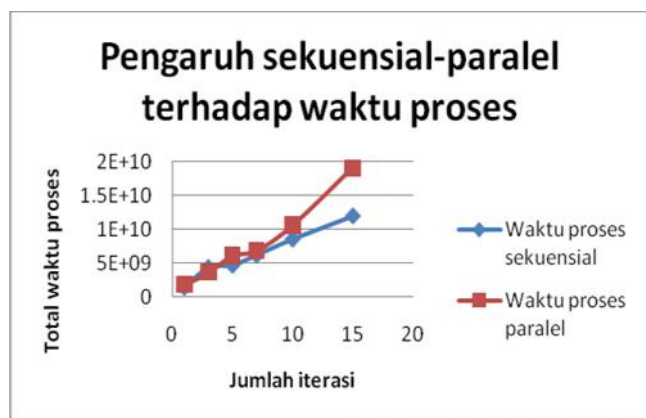
Jumlah iterasi selain berpengaruh pada total biaya distribusi juga berpengaruh terhadap total waktu proses eksekusi yang ditampilkan pada gambar 6.



Gambar 6 Perbandingan jumlah iterasi terhadap waktu tipe 24 kL dengan jumlah 5 kendaraan

Pada jumlah iterasi yang bervariasi, penggunaan 15 kendaraan pada tipe 16kL dan 15 kendaraan tipe 24kL menemukan solusi optimal secara sekuensial dalam selang

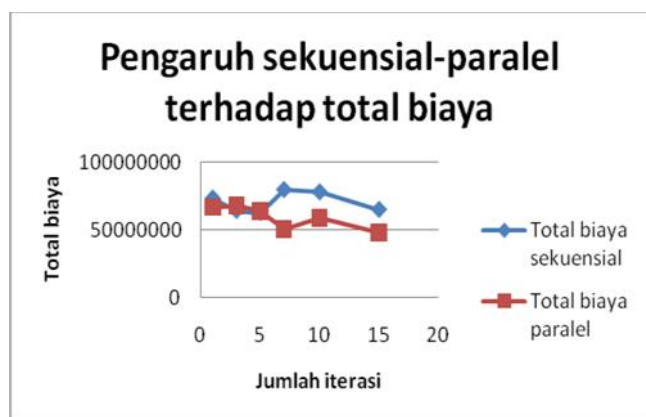
waktu tertentu yang kemudian dibandingkan dengan penggunaan 15 kendaraan tipe 16kL dan 15 kendaraan tipe 24kL yang dijalankan secara paralel. Pengaruh sekuensial dan paralel ditampilkan pada gambar 5.9.



Gambar 7 Pengaruh sekuensial-paralel terhadap waktu proses

Waktu proses secara sekuensial dapat dilihat lebih rendah daripada waktu proses secara paralel. Secara actual waktu proses secara sekuensial memerlukan waktu yang lebih lama karena harus melakukan proses satu persatu untuk 15 kendaraan tipe 16kL dan 15 kendaraan tipe 24kL, walaupun secara perhitungan waktu proses secara sekuensial lebih rendah dari penggunaan proses secara paralel.

Pada jumlah iterasi yang bervariasi, penggunaan 15 kendaraan pada tipe 16kL dan 15 kendaraan tipe 24kL menemukan biaya optimal secara sekuensial dalam selang waktu tertentu yang kemudian dibandingkan dengan penggunaan 15 kendaraan tipe 16kL dan 15 kendaraan tipe 24kL yang dijalankan secara paralel. Pengaruh sekuensial dan paralel ditampilkan pada gambar 8.

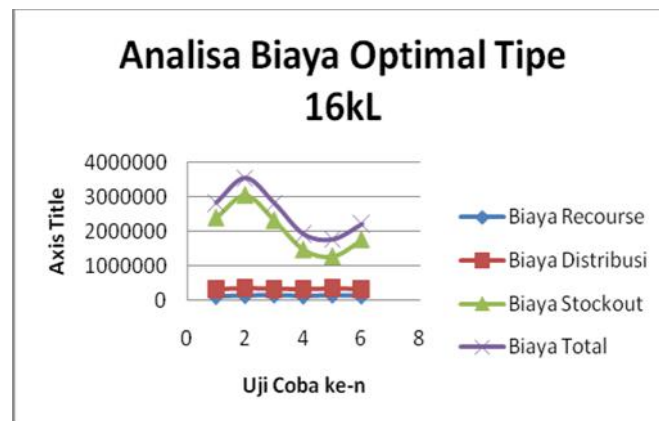


Gambar 8 Pengaruh sekuensial-paralel terhadap total biaya

Biaya optimal secara paralel dapat dilihat lebih rendah daripada waktu proses secara sekuensial. Pada awalnya proses secara sekuensial dan proses secara paralel menghasilkan biaya optimal yang relative sama, dimana mengalami penurunan seiring bertambahnya jumlah iterasi pada proses paralel kendaraan tipe 14kL dan 24kL secara bersamaan.

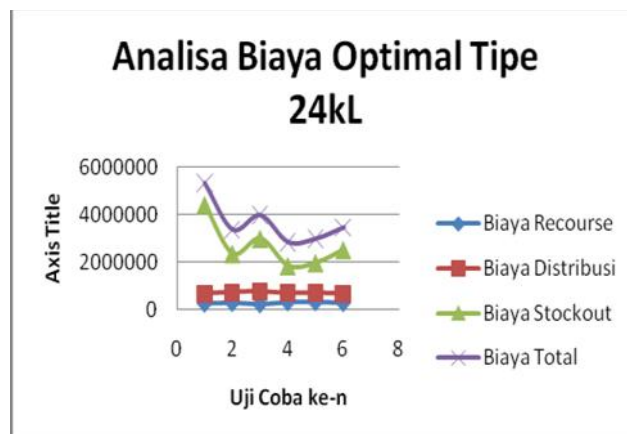
Fungsi tujuan meminimalkan biaya ditunjukkan pada persamaan (1) yang ditampilkan pada gambar 9 dimana biaya

optimal terdiri atas biaya perjalanan, biaya recourse dan biaya stockout.



Gambar 9 Analisis Pengaruh Biaya Optimal 16kL

Pemilihan pelanggan yang akan dikunjungi tidak hanya mempertimbangkan jarak, tetapi lebih mementingkan pelanggan dengan tingginya biaya *stockout*. Analisa faktor utama yang mempengaruhi biaya optimal pada kendaraan tipe 16kL sejumlah 15 ditampilkan pada gambar 9 dan kendaraan tipe 24kL ditampilkan pada gambar 10 Dimana pengaruh yang paling besar terhadap biaya optimal diberikan oleh biaya *stockout* akibat banyak titik yang tidak dapat dilayani karena keterbatasan baik jumlah kendaraan maupun kapasitas kendaraan. Biaya *stockout* dihitung berdasarkan nilai demand terhadap kapasitas maksimum inventori. Selain biaya *stockout*, biaya distribusi dan biaya recourse juga mempengaruhi biaya total, dimana biaya distribusi dan biaya recourse dihitung berdasarkan biaya distribusi per-kilometer terhadap jarak.



Gambar 10 Analisis Pengaruh Biaya Optimal 24kL

Pada penggunaan kendaraan tipe 16kL biaya *stockout* mempengaruhi biaya total sebanyak 81% dimana penggunaan kendaraan tipe 24kL mempengaruhi 73%. Turunnya persentase pengaruh biaya *stockout* terhadap biaya total dikarenakan tipe kendaraan mempengaruhi banyaknya titik yang dapat dilayani sehingga biaya *stockout* turun sebesar 8%. Biaya distribusi meningkat dari 13% pada penggunaan kendaraan tipe 16kL menjadi 19% untuk tipe 24kL. Biaya *recourse* pada tipe 16kL mempengaruhi biaya total

sebesar 5%, sedangkan pada tipe 24kL mempengaruhi biaya total sebesar 8%.

Persentase pada biaya distribusi dan biaya *recourse* tipe kendaraan 24kL mengalami kenaikan dikarenakan biaya distribusi per-kilometer pada tipe kendaraan 24kL lebih besar daripada biaya distribusi pada tipe 16kL.

V. KESIMPULAN

Setelah dilakukan uji coba dan analisis terhadap sistem yang dibuat, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Program yang mengimplementasikan algoritma *ant colony* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *inventory routing* pada studi kasus SPBU dengan jumlah 100 titik yang tersebar di daerah (Cilegon, Serang, Pandeglang, Lebak dan Tangerang). Uji validasi dilakukan menggunakan formula Yaman Barlas dengan hasil *error rate* sebesar 0,06 dimana hasil dianggap valid apabila *error rate* 30% atau 0,3.
2. Pada penggunaan kendaraan tipe 16kL biaya *stockout* mempengaruhi biaya total sebanyak 81% dimana penggunaan kendaraan tipe 24kL mempengaruhi 73%. Turunnya persentase pengaruh biaya *stockout* terhadap biaya total dikarenakan tipe kendaraan mempengaruhi banyaknya titik yang dapat dilayani sehingga biaya *stockout* turun sebesar 8%.
3. Biaya distribusi meningkat dari 13% pada penggunaan kendaraan tipe 16kL menjadi 19% untuk tipe 24kL.
4. Biaya *recourse* pada tipe 16kL mempengaruhi biaya total sebesar 5%, sedangkan pada tipe 24kL mempengaruhi biaya total sebesar 8%.
5. Pada tipe 24kL biaya optimal dipengaruhi oleh 3 faktor yakni, dengan rata-rata biaya *stockout* sebesar 81%, biaya distribusi sebesar 13% dan biaya *recourse* sebesar 5%.
6. Solusi optimal dipengaruhi oleh jumlah iterasi, dimana jumlah iterasi dapat menekan biaya total. Sebagai contoh pada tipe kendaraan 16kL, penggunaan kendaraan sebanyak 15 mengeluarkan biaya total (Rp 17,770,335.51) yang hampir sama dengan penggunaan 10 kendaraan (Rp 16,425,705.89)
7. Pengaruh proses secara paralel lebih optimal 8% daripada penggunaan proses sekuensial. Dengan proses secara sekuensial persentase biaya total yang dikeluarkan sebesar 54% sedangkan pada proses paralel biaya yang dikeluarkan sebesar 46%, sehingga penggunaan proses secara paralel ini lebih optimal daripada proses secara sekuensial.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Allah SWT, orangtua dan keluarga penulis, dosen pembimbing, dosen dan kepala jurusan Sistem Informasi, teman-teman penulis, serta semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Blum, Christian. "Ant colony optimization: Introduction and recent trends." (2005).
- [2] Campbell, Ann Melissa and Martin W. P. Savelsbergh. "A Decomposition Approach for the Inventory-Routing Problem." *Transportation Science* (2004) 488-502.
- [3] Chaudhury, Abijit & Jean-Pierre Kuilboer. *e-Business and e-Commerce Infrastructure*. McGraw-Hill: ISBN 0-07-247875-6, (2002).
- [4] Dorigo, Marco and Maria Luca Gambardella. "Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem." *Transactions on Evolutionary Computation* (1997) 53-66.
- [5] Huang, Shan Huen and Pei-Chun Lin. "A modified ant colony optimization algorithm for multi-item." (2009).
- [6] Kleywegt, Anton J, Vijay S Nori and Martin Savelsbergh. "The Stochastic Inventory Routing Problem with Direct Deliveries." (2000).
- [7] Santosa, B., & Willy, P. *Metoda Heuristik*. In *Konsep dan implementasi*. Surabaya: Guna Widya, (2011), 171-180.